

(12) NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES
PATENTWESENS (PCT) VERÖFFENTLICHTE INTERNATIONALE ANMELDUNG

(19) Weltorganisation für geistiges Eigentum
Internationales Büro



(43) Internationales Veröffentlichungsdatum
7. Juli 2005 (07.07.2005)

PCT

(10) Internationale Veröffentlichungsnummer
WO 2005/061856 A1

(51) Internationale Patentklassifikation⁷: **F01D 25/08**, 5/28

(21) Internationales Aktenzeichen: PCT/EP2004/013660

(22) Internationales Anmeldedatum:
1. Dezember 2004 (01.12.2004)

(25) Einreichungssprache: Deutsch

(26) Veröffentlichungssprache: Deutsch

(30) Angaben zur Priorität:
03028576.1 11. Dezember 2003 (11.12.2003) EP

(71) Anmelder (für alle Bestimmungsstaaten mit Ausnahme von
US): **SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT** [DE/DE];
Wittelsbacherplatz 2, 80333 München (DE).

(72) Erfinder; und

(75) Erfinder/Anmelder (nur für US): **SCHMITZ, Fried-
helm** [DE/DE]; Elisabethstr. 39, 46537 Dinslaken (DE).

WIEGHARDT, Kai [DE/DE]; Generalstr. 23, 44795
Bochum (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: **SIEMENS AKTIENGE-
SELLSCHAFT**; Postfach 22 16 34, 80506 München
(DE).

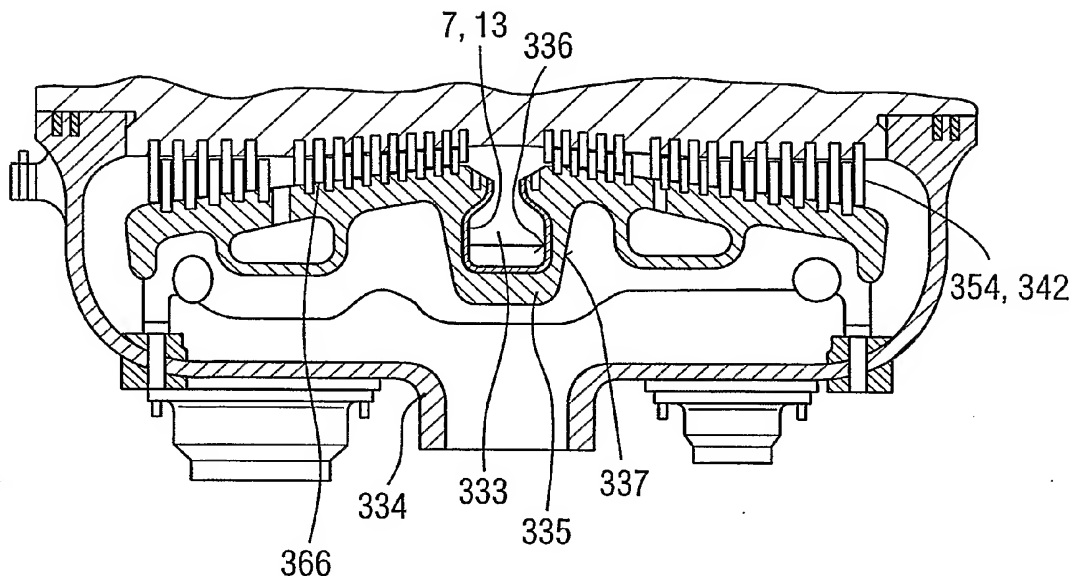
(81) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare nationale Schutzrechtsart): AE, AG, AL,
AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BR, BW, BY, BZ, CA, CH,
CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES,
FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE,
KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, MA, MD,
MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG,
PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM,
TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM,
ZW.

(84) Bestimmungsstaaten (soweit nicht anders angegeben, für
jede verfügbare regionale Schutzrechtsart): ARIPO (BW,

[Fortsetzung auf der nächsten Seite]

(54) Title: TURBINE COMPONENT COMPRISING A THERMAL INSULATION LAYER AND AN ANTI-EROSION LAYER

(54) Bezeichnung: TURBINENBAUTEIL MIT WÄRMEDÄMMSCHICHT UND EROSIONSSCHUTZSCHICHT



(57) Abstract: The invention relates to components (333, 366) of a steam turbine (300, 303) comprising a thermal insulation layer (7) and a metallic anti-erosion layer (13) that is applied to the thermal insulation layer (7).

(57) Zusammenfassung: Die Erfindung betrifft Bauteile (333, 366) einer Dampfturbine (300, 303) mit einer Wärmedämmschicht (7) und einer metallischen Erosionsschutzschicht (13) auf der Wärmedämmschicht (7).

WO 2005/061856 A1



GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), eurasisches (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), europäisches (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

Zur Erklärung der Zweibuchstaben-Codes und der anderen Abkürzungen wird auf die Erklärungen ("Guidance Notes on Codes and Abbreviations") am Anfang jeder regulären Ausgabe der PCT-Gazette verwiesen.

Veröffentlicht:

— mit internationalem Recherchenbericht

Bauteil mit Wärmedämmschicht und Erosionsschutzschicht

Die Erfindung betrifft ein Bauteil mit einer Wärmedämmschicht
5 und einer Erosionsschutzschicht nach Anspruch 1.

Wärmedämmschichten, die auf Bauteilen aufgebracht werden,
sind aus dem Bereich der Gasturbinen bekannt, wie sie z.B. in
10 der EP 1 029 115 beschrieben sind.

Wärmedämmschichten erlauben es, Bauteile bei höheren
Temperaturen einzusetzen, als es der Grundwerkstoff zulässt,
oder die Einsatzdauer zu verlängern.
15 Bekannte Grundwerkstoffe (Substrate) für Gasturbinen
ermöglichen Einsatztemperaturen von maximal 1000°C bis
1100°C, wohingegen eine Beschichtung mit einer
Wärmedämmschicht Einsatztemperaturen von bis zu 1350°C
ermöglicht.

20 Die Einsatztemperaturen von Bauteilen in einer Dampfturbine
sind deutlich niedriger, so dass dort solche Anforderungen
nicht gestellt werden.

25 Aus der EP 1 029 104 A ist bekannt, eine keramische
Erosionsschutzschicht auf eine keramische Wärmedämmschicht
einer Gasturbinenschaufel aufzubringen.

Aus der DE 195 35 227 A1 ist bekannt, eine Wärmedämmschicht
30 in einer Dampfturbine vorzusehen, um Werkstoffe mit
schlechteren mechanischen Eigenschaften, die aber
kostengünstiger sind, für das Substrat, auf das die
Wärmedämmschicht aufgebracht wird, verwenden zu können.

35 Die US-PS 5,350,599 offenbart eine erosionsresistente
keramische Wärmedämmschicht.

Die US 2003/0152814 A1 offenbart ein Wärmedämmschichtsystem bestehend aus einem Substrat aus einer Superlegierung, einer Aluminiumoxidschicht auf dem Substrat und einer Keramik als äußere keramische Wärmedämmschicht.

5

Die EP 0 783 043 A1 offenbart eine Erosionsschutzschicht besteht aus Aluminiumoxid oder Siliziumkarbid auf einer keramischen Wärmedämmschicht.

- 10 Die US-PS 5,740,515 offenbart eine Erosionsschutzschicht aus einem Silizid, insbesondere Molybdänssilizid, das auf einer keramischen Wärmedämmschicht aufgebracht ist.

- 15 Die US 2003/0035892 A1 offenbart ein keramisches Wärmedämmschichtsystem.

Die US-PS 5,683,226 offenbart eine Komponente einer Dampfturbine dessen Erosionswiderstand verbessert wird.

- 20 Aufgrund von Verunreinigungen in einem Medium und/oder hohen Strömungsgeschwindigkeiten des strömenden Mediums, das an Bauteilen mit einer Wärmedämmschicht vorbeiströmt, kommt es zu einer starken Erosion der Wärmedämmschicht.

- 25 Daher ist es Aufgabe der Erfindung ein Bauteil aufzuzeigen, das dieses Problem überwindet.

- 30 Die Aufgabe wird gelöst durch ein Bauteil gemäß Anspruch 1.

In den Unteransprüchen sind weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Bauteile aufgelistet. Die in den Unteransprüchen aufgelisteten Maßnahmen können in vorteilhafter Art und Weise miteinander verknüpft werden.

35

Insbesondere bei Bauteilen von Turbinen, die zum Antrieb heißen Fluiden ausgesetzt sind, kommt es häufig durch Verzunderungen zu einem mechanischen Einschlag von abgelösten Zunder-Teilchen auf eine spröde keramische Schicht, was zum

5 Ausbrechen von Material, also zur Erosion führen könnte.

Obwohl die keramische Schicht dafür ausgelegt ist, Thermoschocks zu überstehen, ist sie anfällig gegenüber der lokal sehr begrenzt auftretenden mechanischen Beanspruchung, da ein Thermoschock globaler auf die gesamte Schicht

10 einwirkt.

Daher ist eine metallische Erosionsschutzschicht von besonderem Vorteil, da sie aufgrund ihrer Duktilität elastisch und plastisch verformbar ist.

15 Die Wärmedämmschicht dient nicht notwendigerweise nur dem Zweck den Bereich der Einsatztemperaturen nach oben zu verschieben, sondern die thermische Dehnung aufgrund der Temperaturunterschiede, die an dem Bauteil erzeugt werden bzw. anliegen, wird in vorteilhafter Weise vergleichmäßigt

20 und/oder reduziert. So können thermomechanischen Spannungen vermieden bzw. zumindest reduziert werden.

Ausführungsbeispiele sind in den Figuren dargestellt.

25 Es zeigen

Figur 1, 2 Anordnungsmöglichkeiten einer erfindungsgemäßen Wärmedämmschicht eines Bauteils,

Figur 3, 4, 9, 11 weitere Ausführungsbeispiele eines erfindungsgemäßen ausgebildeten Bauteils,

30

Figur 5, 6 einen Gradienten der Porosität innerhalb der Wärmedämmschicht eines erfindungsgemäß ausgebildeten Bauteils,

Figur 7 der Einfluss eines Temperaturunterschieds auf ein Bauteil,

35

Figur 8 eine Dampfturbine und

Figur 10 den Einfluss einer Wärmedämmschicht auf
die Lebensdauer eines wieder
aufgearbeiteten Bauteils.

5

Figur 1 zeigt ein erstes Ausführungsbeispiel eines
erfindungsgemäß ausgebildeten Bauteils 1.

Das Bauteil 1 ist ein Bauteil einer Gas- oder einer
Dampfturbine 300, 303 (Fig. 8), insbesondere ein

10 Dampfeinströmbereich 333, eine Turbinenschaufel 342, 354, 357
(Fig. 8) oder ein Gehäuseteil 334, 335, 366 (Fig. 8, 9) und
besteht aus einem Substrat 4 (Tragstruktur) und einer darauf
aufgebrachten Wärmedämmschicht 7 sowie einer äußeren
Erosionsschutzschicht 13 auf der Wärmedämmschicht 7. Die
15 Erosionsschutzschicht 13 kann auch gleichzeitig als
Wärmedämmschicht wirken, so dass dann körperlich nur eine
einzige Schicht auf dem Substrat 4 vorhanden wäre.

Die Erosionsschutzschicht 13 besteht vorzugsweise aus einem
Metall oder einer Metalllegierung und schützt das Bauteil vor
20 Erosion und/oder Verschleiß, wie es insbesondere bei
Dampfturbinen 300, 303 (Fig. 8), die einer Verzunderung
unterliegen, der Fall ist, und bei der mittlere
Strömungsgeschwindigkeiten von etwa 50m/s (d.h. 20m/s - 100
m/s) und Drücke von 350 bis 400 bar auftreten.

25

Das Substrat 4 ist beispielsweise eine Stahl- oder eine
sonstige eisenbasierte Legierung (beispielsweise 1%CrMoV oder
10 - 12% Chromstähle oder IN617) oder eine nickel- oder
kobaltbasierte Superlegierung.

30

Die Wärmedämmschicht 7 ist insbesondere eine keramische
Schicht, die beispielsweise zumindest teilweise aus
Zirkonoxid (teilstabilisiert oder vollstabilisiert durch
Yttriumoxid und/oder Magnesiumoxid) und/oder zumindest
35 teilweise aus Titanoxid besteht und beispielsweise dicker als
0.1 mm ist.

So können Wärmedämmschichten 7, die zu 100% entweder aus Zirkonoxid oder Titanoxid bestehen, verwendet werden.

Die keramische Schicht 7 kann mittels bekannter

5 Beschichtungsverfahren wie atmosphärisches Plasmaspritzen (APS), Vakuumplasmaspritzen (VPS), Niedrigdruckplasmaspritzen (LPPS) sowie durch chemische oder physikalische Beschichtungsmethoden aufgebracht werden (CVD, PVD).

10

Figur 2 zeigt eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäß ausgebildeten Bauteils 1.

Zwischen dem Substrat 4 und der Wärmedämmschicht 7 ist zumindest eine weitere Zwischenschuttschicht 10 angeordnet.

15 Die Zwischenschuttschicht 10 dient zum Schutz vor Korrosion und/oder Oxidation des Substrats 4 und/oder zur besseren Anbindung der Wärmedämmschicht 7 an das Substrat 4. Dies ist insbesondere der Fall, wenn die Wärmedämmschicht 7 aus Keramik und das Substrat 4 aus einem Metall besteht.

20

Die Zwischenschuttschicht 10 zum Schutz eines Substrats 4 gegen Korrosion und Oxidation bei einer hohen Temperatur weist beispielsweise im wesentlichen folgende Elemente auf (Angabe der Anteile in Gewichtsprozent):

25 11,5 bis 20,0 wt% Chrom,
0,3 bis 1,5 wt% Silizium,
0,0 bis 1,0 wt% Aluminium,
0,0 bis 0,7 wt% Yttrium und/oder zumindest ein äquivalentes Metall aus der Gruppe umfassend Scandium und die Elemente der
30 Seltenen Erden,
Rest Eisen, Kobalt und/oder Nickel sowie herstellungsbedingte Verunreinigungen.

Insbesondere besteht die metallische Zwischenschuttschicht 10
35 aus

12,5 bis 14,0 wt% Chrom,
0,5 bis 1,0 wt% Silizium,

0,1 bis 0,5 wt% Aluminium,
0,0 bis 0,7 wt% Yttrium und/oder zumindest ein äquivalentes
Metall aus der Gruppe umfassend Scandium und die Elemente der
Seltenen Erden,
5 Rest Eisen und/oder Kobalt und/oder Nickel sowie
herstellungsbedingte Verunreinigungen.

Bevorzugt ist dabei, wenn der Rest nur Eisen ist.

- 10 Die Zusammensetzung der Zwischenschuttschicht 10 auf
Eisenbasis zeigt besonders gute Eigenschaften, so dass die
Zwischenschuttschicht 10 hervorragend zur Aufbringung auf
ferritischen Substraten 4 geeignet ist.
Dabei können die thermischen Ausdehnungskoeffizienten von
15 Substrat 4 und Zwischenschuttschicht 10 sehr gut aneinander
angepasst werden (bis zu 10% Unterschied) oder sogar gleich
sein, so dass es zu keinem thermisch verursachten
Spannungsaufbau zwischen Substrat 4 und Zwischenschuttschicht
10 kommt (thermal mismatch), der ein Abplatzen der
20 Zwischenschuttschicht 10 verursachen könnte.
Dies ist besonders wichtig, da bei ferritischen Werkstoffen
oft keine Wärmebehandlung zur Diffusionsanbindung
durchgeführt wird, sondern die Zwischenschuttschicht 10
(ferritisch) größtenteils oder nur durch Adhäsion auf dem
25 Substrat 4 haftet.

Insbesondere ist das Substrat 4 eine ferritische
Basislegierung, ein Stahl- oder eine Nickel- oder
kobaltbasierte Superlegierung, insbesondere ein 1%CrMoV-Stahl
30 oder ein 10 bis 12prozentiger Chromstahl.

Weitere vorteilhafte ferritische Substrate 4 des
Schichtsystems 1 bestehen aus einem

- 35 1% bis 2%Cr Stahl für Wellen (309, Fig. 8):
wie z.B. 30CrMoNiV5-11 oder 23CrMoNiWV8-8,

1% bis 2%Cr Stahl für Gehäuse (Fig. 8, bspw. 335):
G17CrMoV5-10 oder G17CrMo9-10,

10% Cr-Stahl für Wellen(309, Fig. 8):
5 X12CrMoWVNbN10-1-1 ,

10% Cr-Stahl für Gehäuse (Fig. 8, bspw. 335):
GX12CrMoWVNbN10-1-1 oder GX12CrMoVNbN9-1.

10

Für eine möglichst gute Wirkungsweise der Wärmedämmschicht 7 weist die Wärmedämmschicht 7 zumindest teilweise eine gewisse offene und/oder geschlossene Porosität auf.

15 Vorzugsweise weist die Verschleiß/Erosionsschutzschicht 13 eine höhere Dichte als die Wärmedämmschicht 7 auf und besteht beispielsweise aus Legierungen auf der Basis von Eisen, Chrom, Nickel und/oder Kobalt oder beispielsweise NiCr 80/20 oder NiCrSiB mit Beimengungen von Bor (B) und Silizium (Si)
20 oder NiAl (bspw.: Ni: 95wt%, Al 5wt%).

Insbesondere kann eine metallische Erosionsschutzschicht 13 bei Dampfturbinen 300, 303 eingesetzt werden, da die Einsatztemperaturen in Dampfturbinen beim
25 Dampfeinströmbereich 333 maximal bei 450°C, 550°C, 650°C oder 850°C liegen. Für solche Temperaturbereiche gibt es genügend metallische Schichten, die einen hinreichend großen notwendigen Erosionsschutz über die Einsatzdauer des Bauteils 1 bei gleichzeitiger guter Oxidationsbeständigkeit aufweisen.

30

Metallische Erosionsschutzschichten 13 in Gasturbinen auf einer keramischen Wärmedämmschicht 7 innerhalb der ersten Stufe der Turbine oder innerhalb der Brennkammer sind nicht möglich, da metallische Erosionsschutzschichten 13 als äußere
35 Schicht die Einsatztemperaturen von bis zu 1350°C nicht aushalten können.

Eine keramische Erosionsschutzschicht 13 besteht beispielsweise teilweise oder zu 100% aus Chromkarbid.

Weitere Materialien für die Erosionsschutzschicht 13 sind beispielsweise eine Mischung aus Wolframkarbid, Chromkarbid und Nickel (WC , $CrC-Ni$) bspw. mit den Gewichtsanteilen 73 wt% für Wolframkarbid, 20 wt% für Chromkarbid und 7 wt% für Nickel, ferner Chromkarbid mit der Beimischung von Nickel (Cr_3C_2-Ni) bspw. mit einem Anteil von 83 wt% Chromkarbid und 17 wt% Nickel sowie eine Mischung aus Chromkarbid und Nickelchrom (Cr_3C_2-NiCr) bspw. mit einem Anteil von 75 wt% Chromkarbid und 25 wt% Nickelchrom sowie Yttrium-stabilisiertes Zirkonoxid bspw. mit einem Gewichtsanteil von 80 wt% Zirkonoxid und 20 wt% Yttriumoxid.

Die Wärmedämmschicht 7 ist beispielsweise porös.

Figur 5 zeigt eine poröse Wärmedämmschicht 7 mit einem Gradienten der Porosität.

In der Wärmedämmschicht 7 sind Poren 16 vorhanden. In Richtung einer äußeren Oberfläche nimmt die Dichte ρ der Wärmedämmschicht 7 zu.

So kann die Schicht 7 im Bereich der größeren Porosität zur Wärmedämmung und im Bereich der geringeren Porosität gegebenenfalls auch zum Erosionsschutz verwendet werden.

Somit besteht zum Substrat 4 oder zu einer gegebenenfalls vorhandenen Zwischenschutzschicht 10 hin vorzugsweise eine größere Porosität als im Bereich einer äußeren Oberfläche oder der Kontaktfläche zu der Erosionsschutzschicht 13.

In Figur 6 verläuft der Gradient in der Dichte ρ der Wärmedämmschicht 7 entgegengesetzt zu dem in Figur 5.

Die Erosionsschutzschicht 13 weist vorzugsweise eine höhere Dichte als die Wärmedämmschicht 7 auf, damit sie 13 eine höhere Festigkeit aufweist.

Die Figuren 7a, 7b zeigen den Einfluss der Wärmedämmschicht 7 auf das thermische Verformungsverhalten des Bauteils 1.

5

Figur 7a zeigt ein Bauteil ohne Wärmedämmschicht.

An zwei gegenüberliegenden Seiten des Substrats 4 herrschen zwei verschiedene Temperaturen, eine höhere Temperatur T_{\max} und eine niedrigere Temperatur T_{\min} , wodurch ein

10 Temperaturunterschied $dT(4)$ gegeben ist.

Der Temperaturunterschied $dT(4)$ kann mindestens 200°C betragen.

Die höhere Temperatur T_{\max} beträgt beispielsweise mindestens 450°C , insbesondere sogar bis 850°C .

15 Somit dehnt sich das Substrat 4, wie es gestrichelt angedeutet ist, im Bereich der höheren Temperatur T_{\max} aufgrund der thermischen Ausdehnung deutlich stärker aus als im Bereich der kleineren Temperatur T_{\min} . Diese unterschiedliche Ausdehnung verursacht eine unerwünschte

20 Verformung des Bauteils (Gehäuse).

Hingegen ist bei der Figur 7b auf dem Substrat 4 eine Wärmedämmschicht 7 vorhanden, wobei das Substrat 4 und die

25 Wärmedämmschicht 7 zusammen beispielsweise genauso dick sind wie das Substrat 4 in Figur 7a.

Die Wärmedämmschicht 7 reduziert die maximale Temperatur an der Oberfläche des Substrats 4 überproportional auf eine Temperatur T'_{\max} , obwohl die äußere Temperatur T_{\max} genauso

30 hoch ist wie in Figur 7a. Dies ergibt sich nicht nur aus dem Abstand der Oberfläche des Substrats 4 zur höheren Temperatur, sondern insbesondere durch die geringere thermische Leitfähigkeit der Wärmedämmschicht 7. Dort ist ein sehr viel größerer Temperaturgradient vorhanden als im

35 metallischen Substrat 4.

Dadurch wird der Temperaturunterschied $dT(4,7)$ ($= T'_{\max} - T_{\min}$) kleiner als der Temperaturunterschied gemäß Figur 7a ($dT(4) = dT(7) + dT(4,7)$).

Dadurch findet eine geringere oder kaum unterschiedliche thermische Ausdehnung des Substrats 4 statt, wie es gestrichelt angedeutet ist, so dass lokal unterschiedliche Ausdehnungen zumindest vergleichmäßig werden.

Das Substrat 4 in Figur 7b kann auch genauso dick sein wie das in Figur 7a.

Die Erosionsschutzschicht 13 ist hier der Vereinfachung wegen nicht dargestellt.

In Figur 8 ist beispielhaft eine Dampfturbine 300, 303 mit einer sich entlang einer Rotationsachse 306 erstreckenden Turbinenwelle 309 dargestellt.

Die Dampfturbine weist eine Hochdruck-Teilturbine 300 und eine Mitteldruck-Teilturbine 303 mit jeweils einem Innengehäuse 312 und einem dieses umschließendes Außengehäuse 315 auf. Die Hochdruck-Teilturbine 300 ist beispielsweise in Topfbauart ausgeführt. Die Mitteldruck-Teilturbine 303 ist zweiflutig ausgeführt. Es ist ebenfalls möglich, dass die Mitteldruck-Teilturbine 303 einflutig ausgeführt ist. Entlang der Rotationsachse 306 ist zwischen der Hochdruck-Teilturbine 300 und der Mitteldruck-Teilturbine 303 ein Lager 318 angeordnet, wobei die Turbinenwelle 309 in dem Lager 318 einen Lagerbereich 321 aufweist. Die Turbinenwelle 309 ist auf einem weiteren Lager 324 neben der Hochdruck-Teilturbine 300 aufgelagert. Im Bereich dieses Lagers 324 weist die Hochdruck-Teilturbine 300 eine Wellendichtung 345 auf. Die Turbinenwelle 309 ist gegenüber dem Außengehäuse 315 der Mitteldruck-Teilturbine 303 durch zwei weitere Wellendichtungen 345 abgedichtet. Zwischen einem Hochdruck-Dampfeinströmbereich 348 und einem Dampfaustrittsbereich 351 weist die Turbinenwelle 309 in der Hochdruck-Teilturbine 300

die Hochdruck-Laufbeschaufelung 354, 357 auf. Diese Hochdruck-Laufbeschaufelung 354, 357 stellt mit den zugehörigen, nicht näher dargestellten Laufschaufeln einen ersten Beschaufelungsbereich 360 dar. Die Mitteldruck-Teilturbine 303 weist einen zentralen Dampfeinströmbereich 333 auf. Dem Dampfeinströmbereich 333 zugeordnet weist die Turbinenwelle 309 eine radialsymmetrische Wellenabschirmung 363, eine Abdeckplatte, einerseits zur Teilung des Dampfstromes in die beiden Fluten der Mitteldruck-Teilturbine 303 sowie zur Verhinderung eines direkten Kontaktes des heißen Dampfes mit der Turbinenwelle 309 auf. Die Turbinenwelle 309 weist in der Mitteldruck-Teilturbine 303 einen zweiten Beschaufelungsbereich 366 mit den Mitteldruck-Laufschaufeln 354, 342 auf. Der durch den zweiten Beschaufelungsbereich 366 strömende heiße Dampf strömt aus der Mitteldruck-Teilturbine 303 aus einem Abströmstutzen 369 zu einer strömungstechnisch nachgeschalteten, nicht dargestellten Niederdruck-Teilturbine.

Die Turbinenwelle 309 ist aus zwei Teilturbinenwellen 309a und 309b zusammengesetzt, die im Bereich des Lagers 318 fest miteinander verbunden sind.

Insbesondere weist der Dampfeinströmbereich 333 eine Wärmedämmschicht 7 und eine Erosionsschutzschicht 13 auf.

Figur 9 zeigt eine vergrößerte Darstellung eines Bereichs der Dampfturbine 300, 303.

Die Dampfturbine 300, 303 besteht im Bereich des Einströmbereichs 333 aus einem äußeren Gehäuse 334, an dem Temperaturen zwischen 250° bis 350°C anliegen. An dem Einströmbereich 333 als Teil eines Innengehäuses 335 herrschen Temperaturen von 450° bis 800°C.

Somit ergibt sich eine Temperaturdifferenz von mindestens 200°C.

Auf das Innengehäuse 335, an dem die hohen Temperaturen anliegen, wird die Wärmedämmschicht 7 auf der Innenseite 336 aufgebracht (auf der Außenseite 337 beispielsweise nicht). Die Wärmedämmschicht 7 ist lokal nur an dem Innengehäuse 335
5 vorhanden (und beispielsweise nicht im Beschaukelungsbereich 366).

Durch die Aufbringung einer Wärmedämmschicht 7 wird der Wärmeeintrag in das Innengehäuse 335 verringert, so dass das thermische Ausdehnungsverhalten beeinflusst wird. Dadurch
10 kann das gesamte Verformungsverhalten des Innengehäuses 335 und des Dampfeströmbereichs 333 kontrolliert eingestellt werden.

Dies kann erfolgen durch eine Variation der Dicke der Wärmedämmschicht 7 oder die Aufbringung von verschiedenen
15 Materialien an verschiedenen Stellen der Oberfläche des Innengehäuses 335.

Ebenso kann die Porosität an verschiedenen Stellen des Innengehäuses 335 verschieden sein.

Die Wärmedämmschicht 7 kann lokal, beispielsweise im
20 Innengehäuse 335 im Bereich des Einstömbereichs 333 aufgebracht sein.

Ebenso kann die Wärmedämmschicht 7 nur im Beschaukelungsbereich 366 lokal aufgebracht sein (Fig. 3). Besonders im Einstömbereich 333 ist der Einsatz einer
25 Erosionsschutzschicht 13 gefordert.

Figur 4 zeigt ein weiteres Ausführungsbeispiel eines erfindungsgemäßen Bauteils 1.

30 Hier ist die Dicke der Wärmedämmschicht 7 im Einstömbereich 333 dicker ausgeführt als im Beschaukelungsbereich 366 der Dampfturbine 300, 303.

Durch die lokal unterschiedliche Dicke der Wärmedämmschicht 7 wird der Wärmeeintrag und damit die thermische Ausdehnung und
35 somit das Ausdehnungsverhalten des Innengehäuses 334, bestehend aus dem Einstömbereich 333 und dem Beschaukelungsbereich 366, kontrolliert eingestellt.

Da im Einströmbereich 333 höhere Temperaturen herrschen als im Beschaukelungsbereich 366 wird durch die dickere Wärmedämmschicht 7 im Einströmbereich 333 der Wärmeeintrag in das Substrat 4 stärker reduziert als im Beschaukelungsbereich 366, wo geringere Temperaturen herrschen. Somit kann der Wärmeeintrag sowohl im Einströmbereich 333 und anschließendem Beschaukelungsbereich 366 ungefähr gleich gehalten werden, so dass die thermische Ausdehnung ungefähr gleich ist.

10 Ebenso kann im Bereich des Einströmbereichs 333 ein anderes Material vorhanden sein als im Beschaukelungsbereich 366. Die Wärmedämmschicht 7 ist hier im gesamten heißen Bereich, also global, aufgebracht und weist die Erosionsschutzschicht 13 auf.

15

Figur 11 zeigt ein weiteres Anwendungsbeispiel für die Verwendung einer Wärmedämmschicht 7.

Das Bauteil 1, insbesondere ein Gehäuseteil, ist hier ein Ventilgehäuse 31, in das durch einen Einströmkanal 46 ein heißer Dampf einströmt.

Der Einströmkanal 46 bewirkt eine mechanische Schwächung des Ventilgehäuses.

25 Das Ventilgehäuse 31 besteht beispielsweise aus einem topfförmigen Gehäuseteil 34 und einem Deckel 37.

Innerhalb des Gehäuseteils 31 ist ein Ventil bestehend aus einem Ventilkegel 40 und einer Spindel 43 vorhanden.

Infolge Bauteil-Kriechens kommt es zu einer ungleichförmigen axialen Verformung des Gehäuses 31 und Deckels 37. Das

30 Ventilgehäuse 31 würde sich im Bereich des Kanals 46 axial stärker ausdehnen, so dass es zu einer Verkipfung des Deckels mit der Spindel 43 kommt, wie gestrichelt angedeutet. Dadurch sitzt der Ventilkegel 34 nicht mehr richtig auf, so dass die Dichtheit des Ventils reduziert wird.

35 Durch die Aufbringung einer Wärmedämmschicht 7 auf eine Innenseite 49 des Gehäuses 31 wird eine Vergleichmäßigung des

Verformungsverhaltens erreicht, so dass sich beide Enden 52, 55 des Gehäuses 31 und des Deckels 37 gleichmäßig ausdehnen.

Insgesamt dient das Aufbringen der Wärmedämmschicht 7 dazu, das Verformungsverhalten zu kontrollieren und damit die Dichtheit des Ventils zu gewährleisten.

Die Wärmedämmschicht weist wiederum die Erosionsschutzschicht 13 auf.

Figur 10 zeigt den Einfluss der Aufbringung einer Wärmedämmschicht 7 auf ein wiederaufgearbeitetes Bauteil 1.

Wiederaufarbeitung (Refurbishment) bedeutet, dass Bauteile 1, die im Einsatz waren, wiederverwendet und vorher ggf. repariert werden, d.h. dass sie von Korrosions- und Oxidationsprodukten befreit werden sowie Risse ggf. detektiert und beispielsweise durch Auffüllen mit Lot oder durch Schweißen repariert werden.

Jedes Bauteil 1 hat eine bestimmte Lebensdauer bis es zu 100% geschädigt ist.

Wenn das Bauteil 1, beispielsweise eine Turbinenschaufel 342, 254, 357 oder ein Innengehäuse 334 zu einem Zeitpunkt t_s inspiziert und ggf. wieder aufgearbeitet wird, ist ein bestimmter Prozentsatz S_s der Schädigung erreicht. Der zeitliche Verlauf der Schädigung des Bauteil 1 ist mit dem Bezugszeichen 22 gekennzeichnet.

Nach dem Servicezeitpunkt t_s würde die Schädigungskurve ohne eine Wiederaufarbeitung anhand der gestrichelten Linie 25 weiter verlaufen und stark ansteigen, da das Bauteil trotz Wartung nicht die gleichen mechanischen Eigenschaften aufweist wie ein neu hergestelltes Bauteil.

Die restliche Betriebsdauer wäre dadurch relativ kurz. Durch die Aufbringung einer Wärmedämmschicht 7 und/oder

Erosionsschutzschicht 13 auf das vorgeschädigte oder mikrostrukturell veränderte Bauteil 1 wird die Einsatzdauer des Bauteils 1 erheblich verlängert.

Durch die Wärmedämmschicht 7 wird der Wärmeeintrag und die Schädigung von Bauteilen verringert, so dass der Lebensdauerungsverlauf anhand der Kurve 28 weiter verläuft.

- 5 Ebenso wird das Verformungsverhalten von Bauteilen 1 durch die Wärmedämmschicht 7 vergleichmäßigt, so dass beispielsweise weniger Spannungen entstehen, die zur Schädigung des Bauteils 1 führen könnten. Auch dadurch wird die Lebensdauer des Bauteils 1 erhöht.
- 10 Die Lebensdauer wird also verlängert durch Vergleichmäßigung des Verformungsverhaltens des Bauteils und/oder durch die Reduzierung des Wärmeeintrags in das Bauteil 1.

- Der Verlauf der Kurve eines Bauteils 1 mit Wärmedämmschicht 7
- 15 ist gegenüber dem Kurvenverlauf 25 deutlich abgeflacht, so dass ein solches beschichtetes Bauteil 1 mindestens noch einmal so lange eingesetzt werden kann.

Patentansprüche

1. Bauteil (1, 31, 334, 335, 342, 354, 357, 366)
insbesondere für eine Dampfturbine (300, 303),
5 mit einer Wärmedämmschicht (7),
insbesondere einer keramischen Wärmedämmschicht (7), und
mit einer metallischen Erosionsschutzschicht (13) auf der
Wärmedämmschicht (7),
zum Einsatz bei Einsatztemperaturen bis max. 850°C,
10 insbesondere bis max. 650°C für einen längeren Einsatz.
2. Bauteil nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass
15 das Bauteil (1) ein Gehäuseteil (31, 334, 335, 366) einer
Gas- oder Dampfturbine (300, 303) ist.
- 20 3. Bauteil nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Gehäuseteil ein Turbinengehäuse (366) ist.
- 25 4. Bauteil nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
das Gehäuseteil ein Ventilgehäuse (31) ist.
- 30 5. Bauteil nach Anspruch 2,
dadurch gekennzeichnet, dass
35 das Gehäuseteil ein Gehäuseteil (334, 335) eines
Dampfeinströmbereichs (333) ist.

6. Bauteil nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass

5

das Bauteil (1) eine Turbinenschaufel (342, 354, 357) ist.

7. Bauteil nach Anspruch 1 bis 6,
dadurch gekennzeichnet, dass

10

dass das Bauteil (1) aus einem Substrat (4) besteht,
auf dem (4) die Wärmedämmschicht (7) vorhanden ist, und
das Substrat (4) aus einer nickel-, kobalt- oder
15 insbesondere eisenbasierten Legierung gebildet ist..

8. Bauteil nach Anspruch 1 oder 7,
dadurch gekennzeichnet, dass

20

die Wärmedämmschicht (7) zumindest teilweise,
insbesondere ganz aus Zirkonoxid (ZrO_2) besteht.

9. Bauteil nach Anspruch 1, 7 oder 8,
dadurch gekennzeichnet, dass

25

die Wärmedämmschicht (7) zumindest teilweise,
insbesondere ganz aus Titanoxid (TiO_2) besteht.

30

35

10. Bauteil nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass

5 unterhalb der Wärmedämmschicht (7) eine Zwischenschutz-
schicht (10),
insbesondere eine MCrAlX-Schicht,
angeordnet ist,
wobei M für zumindest ein Element der Gruppe Nickel,
Kobalt und insbesondere Eisen steht
10 sowie X Yttrium und/oder Silizium und/oder zumindest ein
Element der Seltenen Erden ist.

11. Bauteil nach Anspruch 1 bis 5,
15 dadurch gekennzeichnet, dass

das Bauteil (1) angelegt ist auf eine Temperaturdifferenz
im Betrieb,
insbesondere eine Temperaturdifferenz von mindestens
20 200°C,
gegeben durch eine höhere Temperatur auf der einen Seite
(336) des Bauteils (1) und eine niedrigere Temperatur auf
der anderen Seite (337) des Bauteils (1, 334),
wobei die Wärmedämmschicht (7) auf der Seite (336) des
25 Bauteils (1, 334) aufgebracht ist,
die der höheren Temperatur ausgesetzt ist,
um das Verformungsverhalten des Bauteils (1) aufgrund des
Temperaturunterschiedes zu vergleichmäßigen.

30

12. Bauteil nach Anspruch 11,
dadurch gekennzeichnet, dass

35 die höhere Temperatur mindestens 400°C,
insbesondere bis zu 800°C beträgt.

13. Bauteil nach Anspruch 10,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Zwischenschuttschicht (10) aus
11,5 wt% bis 20 wt% Chrom,
0,3 wt% bis 1,5 wt% Silizium,
0 wt% bis 1 wt% Aluminium,
0 bis 4 wt% Yttrium, sowie
Rest Eisen besteht.

14. Bauteil nach Anspruch 13,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Zwischenschuttschicht (10) aus
12,5 wt% bis 14 wt% Chrom,
0,5 wt% bis 1,0 wt% Silizium,
0,1 wt% bis 0,5 wt% Aluminium,
0 bis 4 wt% Yttrium, sowie
Rest Eisen besteht.

15. Bauteil nach Anspruch 1 oder 15,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Erosionsschutzschicht (13) eine eisen-, nickel-,
chrom- oder kobaltbasierte Legierung,
insbesondere NiCr80/20, ist.

16. Bauteil nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Erosionsschutzschicht (13) zumindest teilweise aus
Chromkarbid besteht.

17. Bauteil nach Anspruch 1 oder 15,
dadurch gekennzeichnet, dass

5 die Erosionsschutzschicht (13) aus Nickel-Chrom mit
Beimengungen von Silizium (Si) und Bor (B) (NiCrSiB)
besteht.

18. Bauteil nach Anspruch 1 oder 15,
10 dadurch gekennzeichnet, dass

die Erosionsschutzschicht (13) aus Nickel-Aluminium
besteht.

15 19. Bauteil nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass

20 die Erosionsschutzschicht (13) ausgewählt wird aus der
Gruppe oder einem Gemisch aus der Gruppe
Wolframkarbid, Chromkarbid und Nickel (WC-CrC-Ni)
und/oder
Chromkarbid mit der Beimischung von Nickel ($\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-Ni}$)
und/oder
25 einer Mischung aus Chromkarbid und Nickelchrom ($\text{Cr}_3\text{C}_2\text{-NiCr}$).

20. Bauteil nach Anspruch 1,
30 dadurch gekennzeichnet, dass

die Erosionsschutzschicht (13) eine geringere Porosität
als die Wärmedämmschicht (7) aufweist.

35

21. Bauteil nach Anspruch 1, 8, 9 oder 10,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Wärmedämmschicht (7) zumindest teilweise porös ist.

5

22. Bauteil nach Anspruch 1 oder 20,
dadurch gekennzeichnet, dass

10 die Wärmedämmschicht (7) einen Gradienten in der Porosität
aufweist.

23. Bauteil nach Anspruch 22,
dadurch gekennzeichnet, dass

15

die Porosität der Wärmedämmschicht (7) an einer äußeren
Fläche am größten ist.

20

24. Bauteil nach Anspruch 22,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Porosität der Wärmedämmschicht (7) im äußeren Bereich
der Wärmedämmschicht (7) am kleinsten ist.

25

25. Bauteil nach Anspruch 1 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, dass

die Dicke der Wärmedämmschicht (7) auf dem Bauteil (1)
lokal (335, 366) unterschiedlich ist.

30

35

26. Bauteil nach Anspruch 1, 8, 9 oder 11,
dadurch gekennzeichnet, dass

5 verschiedene Materialien für die Wärmedämmschicht (7) an
verschiedenen Stellen (335, 366) des Bauteils (1, 335,
366) verwendet werden.

10 27. Bauteil nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass

15 die Wärmedämmschicht (7) im Einströmbereich (333) und im
Beschaufelungsbereich (366) einer Dampfturbine (300, 303)
aufgebracht ist.

28. Bauteil nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass

20 die Wärmedämmschicht (7) nur im Einströmbereich (333)
einer Dampfturbine (300, 303) aufgebracht ist.

25 29. Bauteil nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet, dass

30 die Wärmedämmschicht (7) nur im Beschaufelungsbereich
(366) einer Dampfturbine (300, 303) aufgebracht ist.

30. Bauteil nach Anspruch 1 oder 27,
dadurch gekennzeichnet, dass

35 die Dicke der Wärmedämmschicht (7) im Einströmbereich
(333) dicker ist als im Beschaufelungsbereich (366).

31. Bauteil nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet, dass

5 die Wärmedämmschicht (7) mit Erosionsschutzschicht (13)
bei wieder aufgearbeiteten Bauteilen (1) aufgebracht ist.